

論文 真空脱水処理工法に伴うコンクリート内部の水分移動性状に関する実験的研究

平川 博也^{*1}・小野 貴史^{*2}・大下 英吉^{*3}

要旨: 現在, 真空脱水処理工法時におけるコンクリート内部の水分移動性状は未解明であり, 真空脱水処理の影響により生じるコンクリート表層部における力学的特性および劣化特性を詳細に評価するためにはコンクリート内部の局所的な水分移動性状を明確にする必要がある。そこで本研究では, コンクリート内部の水分移動性状を明確にする為, 境界条件の異なる領域での局所的脱水量および真空領域変化が及ぼす脱水量変化と経過時間毎の脱水量変化率について測定を行った。

キーワード: 真空脱水処理工法, 水分移動, 脱水量分布, 真空領域

1. はじめに

コンクリートは打設後に生じるブリージング現象により, 表層部には不可避な弱化層が形成され表層強度の低下を招くことになる。それに伴い, 表面からの有害物質の侵入, コンクリート表面の摩擦劣化, 埃の発生, ひび割れおよび仕上げ材の膨れ剥離などを引き起こし, コンクリートの力学的特性および耐久性を低下させるものである。特に, 高水セメント比のコンクリートにおいては, ブリージング現象が顕著となるため, 耐久性, 安全性および景観の面においても問題となってくる。

この問題を改善するために開発された施工方法の一つに真空脱水処理工法がある。本工法はコンクリート打設後, コンクリート表面を真空状態による減圧空間を作り出すことによって, コンクリート内部に存在する水和反応に不要な水分や余剰水を強制的に排出させるとともに, コンクリートの密実さを増大させ締め固めるものである。その効果として, 表層強度の向上と早期強度発現, 摩擦に対する抵抗性の増大, 凍結融解作用に対する抵抗性の増大, 美装性の向上など数多くの特徴が挙げられ, 今後広く用い

られると考えられる。その反面, 表層部における水セメント比の低下および, 真空処理による過剰脱水は, コンクリート表層部における乾燥および自己収縮の反応速度に大きな影響を及ぼすことも想定され, ひび割れの誘発やそれによる耐久性低下に関連付けた詳細な検討が必要と考えられる。

また, 既往の研究の多くは, 真空マットに設置されている真空脱水口が 1 箇所であることから, 脱水量は真空マット下面のコンクリート空間領域の平均的なものとして評価しており, 真空脱水口からの距離に応じた局所的な脱水量に関しては検討されていない。さらに, コンクリートの深さ方向の強度分布に関しても, 真空脱水口近傍に位置するコンクリートに対する評価であり, 真空マット下面の任意の位置に対するコンクリートの評価は実施されていないのが現状である。現在の工法においては, 真空マットと接するコンクリート表面の真空度は均一ではなく, 真空脱水口の距離に応じてその値が異なるとともに, 真空マット端部では境界条件の特異な変化によって真空脱水口近傍とは大幅な真空度の差異が生じるものと想定される。すなわ

*1 中央大学 理工学部土木工学科 (正会員)

*2 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (正会員)

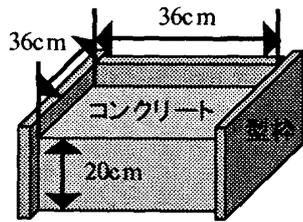
*3 中央大学 理工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

表-1 コンクリートの配合

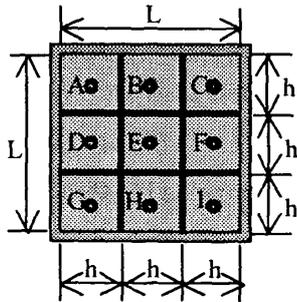
水セメント比(%)	最大骨材寸法(mm)	細骨材率(%)	スランプ値(cm)
55	20	50	15
単位重量(kg/m ³)			
水	セメント	細骨材	粗骨材
180	333	852	874

表-2 実験パラメータおよび測定項目

W/C (%)	真空脱水処理				実験条件			測定項目
	1口脱水		9口脱水		保持時間 (分)	開始時間 (分後)	真空度 (%)	
	領域:L (cm)	名称 (cm)	領域:L (要素:h)	名称 (cm)				
55	1-24	24	9-24	24 (8)	10	120	100	・局所的脱水量分布 ・全脱水量の比較 ・時間的脱水量変化
	1-30	30	9-30	30 (10)				
	1-36	36	9-36	36 (12)				



(a) 全体図

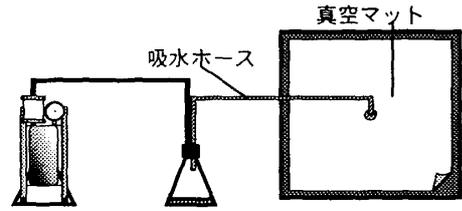


(b) 上面図

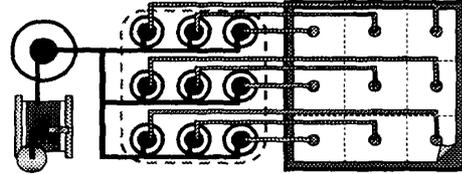
図-1 供試体形状寸法

ち、真空マットと接するコンクリート表面の局所的な真空度の違いやそれらによる真空マット下面のコンクリート空間領域における水分移動性状ならびに真空マット端部の境界条件を考慮したコンクリートの水分移動性状を詳細に評価するとともに、それら水分移動性状に基づいた脱水量の評価ならびに、コンクリートの深さ方向への強度分布の評価を行うことが重要と考えられる。

そこで本研究では、コンクリート内部における局所的な水分移動性状を評価することを目的とし、真空脱水時におけるコンクリート表面の局所的領域からの脱水量測定および真空領域の大きさによる局所的に異なる脱水量変化を評価可能な真空脱水処理実験を行った。また、解析的手法により実験結果に基づくコンクリート中の水分移動性状を詳細に評価した。



真空ポンプ 排水タンク コンクリート供試体
(a) 1口脱水法



真空ポンプ 排水タンク コンクリート供試体
(b) 9口脱水法

図-2 局所的脱水量測定図

2. 真空脱水処理工法

2.1 供試体概要

本実験で用いた供試体の形状および寸法は、図-1に示す通りである。使用材料は、普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³)、骨材は市原市万田野産細骨材(密度: 2.59g/cm³)および荒川水系粗骨材(密度: 2.63g/cm³, 最大寸法: 20mm)であり、コンクリートの配合は、表-1に示す通りである。

2.2 実験パラメータ

表-2に実験パラメータおよび測定項目を示す。実験パラメータは、真空マットの大きさである真空領域:L および真空処理方法である。真空領域は、36×36cm, 30×30cm および 24×24cm とし、真空処理方法においては、既往の方法(以下、1口脱水法と称す)¹⁾と本実験で新たに用いた局所的脱水量測定を目的とした方法(以下、9口脱水法と称す)の2パラメータとした。なお、真空度は、より顕著な脱水量変化が得られるよう100%で行い、真空保持時間を10分間とした。

2.3 実験方法

局所的脱水量分布測定の概略図を図-2に示す。真空処理面は、図-1(b)に示すようにコンクリート表面においてビニールマットを各要素(h)が等面積になるよう9分割し、それぞれの要素をA~Iとして吸水ホースを取り付けた。吸水

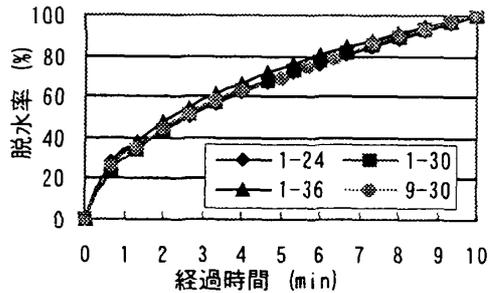


図-3 全脱水量に対する脱水率変化

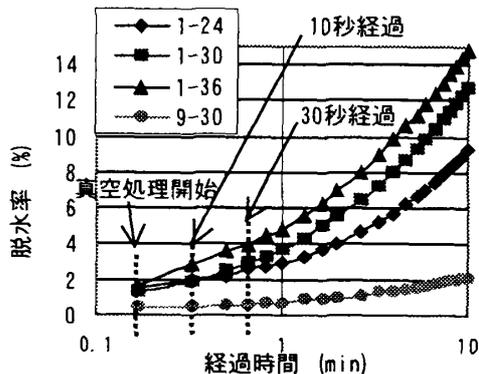


図-4 使用水量に対する脱水率変化

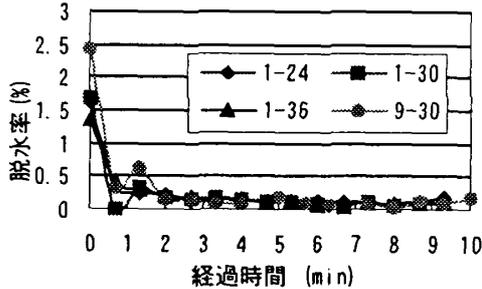


図-5 単位時間当たりの脱水率変化

ホースは内径 5mm, 外径 15mm の耐真空用ホースを使用し, 各ホース同士は X 型コネクターを用いて接続した。各吸水ホースは, それぞれ異なる排水タンクへとつながっており, 真空処理面における局所的な脱水量の比較が可能となっている。この際, ホースの長さは各要素に真空度の偏りを無くすよう全て一定とした。

以上の真空脱水処理工法により真空処理を施し, その時の各脱水率(%) $[\text{脱水量}(\text{g})/\text{使用水量}(\text{g}) \times 100]$ および真空度 $[\text{吸引圧}(\text{MPa})/\text{大気圧}(\text{MPa})]$ の評価を行った。脱水量の時間的变化については, 真空処理開始直後から測定インターバルを 5 秒とし, 脱水量は排水タンクを計量器に載せ目視によって計測した。なお, 真空処理開始時期は, セメント分の損出が極小となり, かつ硬化後に最も圧縮強度が大きくなるとされる

ブリージング終了後^りとし, 事前に JIS A 1123「ブリージング試験方法」に準じて行い, 本実験においては打設後 2 時間とした。

3. 真空脱水処理による局所的な水分移動性状

3.1 脱水率の時間的变化

図-3 に各真空領域変化による全脱水量に対する脱水率の時間的变化を示す。図中の◆, ■, ▲および●は, それぞれ, 供試体 1-24, 1-30, 1-36 および 9-30 を表す。

いずれの供試体においても, 脱水率はほぼ同じ経路で増加し, 真空処理開始約 30 秒経過時点から緩やかな傾きとなり脱水率が推移している。これは, 真空処理初期における脱水量が真空領域の差異には影響を受けず, 真空度変化に大きく影響されるものと想定され, 真空度上昇率は真空領域に左右されないものと考えられる。ここで, 真空処理初期とは処理開始後およそ 30 秒程度を指す。

次に, 図-4 に使用水量に対する脱水率変化を示す。図中の記号は, 図-3 のものと同じである。いずれの供試体においても, 真空処理初期において次々に脱水率が増加し, その後はほぼ一定の脱水率変化を示しており, その傾向はどの真空領域においても同様な結果となっている。また, 真空領域の大小が脱水量に影響を及ぼし始める時期は, 供試体 1-36 において真空処理開始後 10 秒程度ですぐに現れ始めているのに対し, 供試体 1-30 および 1-24 においてはおよそ 30 秒程度経過してからとなっている。これは, 真空領域が大きい程, コンクリート表面に存在するブリージング水を多く吸水したのと考えられ, その結果, 供試体 1-30 および 1-24 において時間的遅れがあるものと思われる。一方, 1 口脱水法は各真空領域における脱水率は終局付近でほぼ等しい勾配であるのに対し, 9 口脱水法は勾配が緩やかになっていることがわかる。これは, 9 口脱水法においては深度方向への影響領域が小さいため, 1 口脱水法よりも脱水量が早く収束してしまったものと考えられる。図-5 に, 単位時間

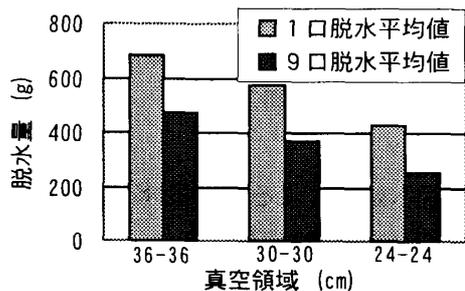


図-6 全脱水量変化

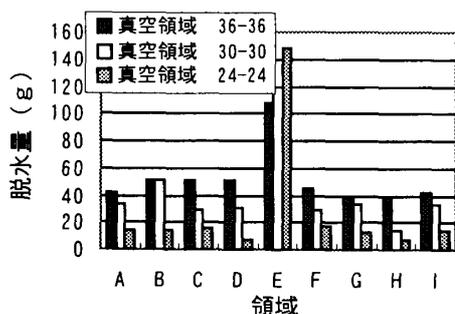


図-7 各要素の脱水量

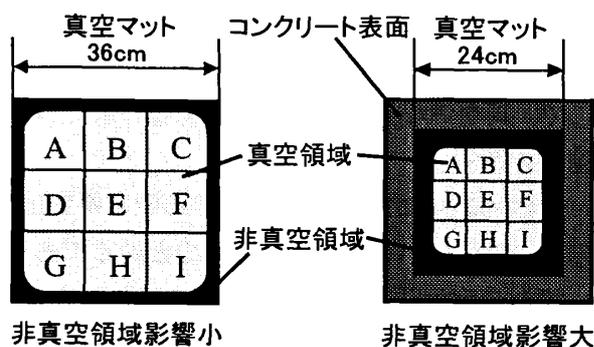


図-8 真空領域

当たりの脱水率変化を示す。同図から、いずれの供試体も、真空処理開始直後において、大きな脱水率となり、図-3から真空処理開始5分で全脱水量の約70%が脱水されていることがわかる。単位時間当たりの脱水率の時間的変化については真空処理開始後およそ100(s)で一定となる。すなわち、上述の結果からブリージング終了後に真空処理を施す場合、脱水保持時間は5~10分程度で十分な効果が得られるものと想定される。

3.2 真空領域変化に伴う全脱水量比較

真空領域変化に伴う1口脱水法および9口脱水法での全脱水量比較を図-6に示す。ここで、同図に示す脱水量は実験において得られた値の9口脱水法とともに、脱水量は真空領域が小さくなるにつれ減少する結果となった。これはコンクリート表面に対する真空領域が小さくなること

表-3 真空領域による全脱水量減少率

	W36-W30	W30-W24
	W36	W30
1口脱水法	15.8	25.6
9口脱水法	20.7	31.8

表-4 名称区別

称名	接数	領域
領域Ⅰ	0	E
領域Ⅱ	1	B・D・F・H
領域Ⅲ	2	A・C・G・I

によりコンクリートの深さおよび面方向の真空影響領域が小さくなり、ブリージング水およびコンクリート内部の余剰水に対する脱水可能領域が限界に達したためである。ここで、真空影響領域とは、真空脱水処理によるコンクリート内部の余剰水を脱水可能な領域のことを示す。

次に、1口脱水法および9口脱水法での全脱水量比較について考察する。各真空領域において1口脱水法での脱水量が9口脱水法と比較して大きくなる結果となっている。また、表-3は図-6に示す全脱水量の真空領域変化による減少率である。表中に示すW36, W30, W24は、真空領域がそれぞれ36×36, 30×30, 24×24による全脱水量である。同表より、真空領域が小さくなることによる脱水量減少率は、9口脱水法の方が約5%大きくなっている。これは9口脱水法において全到達圧が局所的到達圧として分散されたことにより、上述したような理由と同様な現象が起こったものと考えられる。

3.3 各真空領域における局所的脱水量分布

各真空領域における局所的脱水量分布を図-7に示す。ここで、コンクリート表面における各領域(A~I)に対して側面が型枠に接する数を基準として表-4のように区別する。

同図に示すように、領域Ⅰにおける脱水量が他の領域に比べて大きくなっており、すべての真空領域(供試体9-24, 30および36)で同様な傾向が見られる結果となった。真空処理を施すに当たり、図-8に示すような真空マットおよびコ

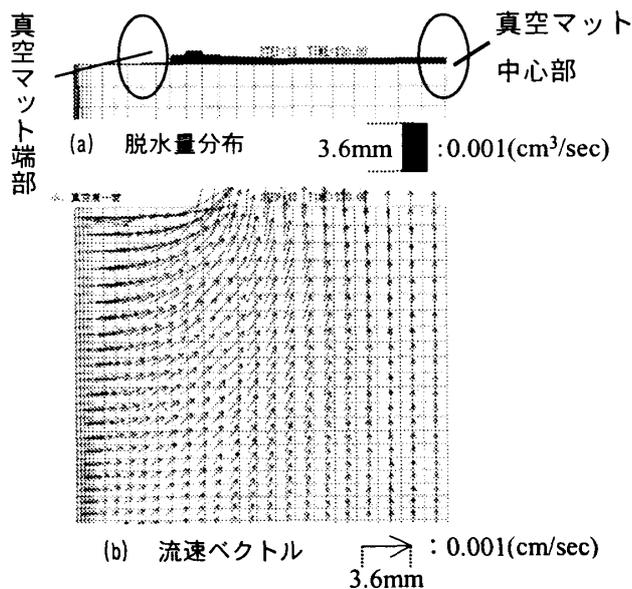


図-9 真空度一定による水分移動性状

ンクリート界面には、非真空領域が存在する。ここで、非真空領域とは、真空マット直下にも関わらず完全な真空状態とはならない領域のことを指す。この非真空領域の影響により領域Ⅱおよび領域Ⅲでの局所的到達圧の停滞が生じているものと考えられる。それにより領域Ⅰにおける脱水力は、領域Ⅱおよび領域Ⅲに対して大きくなり、コンクリート表面に存在するブリージング水を広域から脱水したことによるものであると考えられる。このような現象の詳細は、4章の解析的評価で論じることとする。また、真空領域が小さくなるにつれて、領域Ⅰにおける脱水量が大きくなっている。このことも、図-8に示すように真空領域が小さくなるにつれて、その大きさに対する非真空領域の割合が大きくなる。その結果、9-36に対して9-30および9-24では、領域Ⅰに対する領域Ⅱおよび領域Ⅲの非真空領域による脱水力低下割合が顕著となり、真空領域が小さいほど領域Ⅰにおける脱水量が大きくなったものと考えられる。

また、領域Ⅱおよび領域Ⅲについての脱水量分布については、9-36においては、領域Ⅱでの脱水量が領域Ⅲでの脱水量よりも大きくなっているのに対し、9-30および9-24においては領域Ⅲが領域Ⅱを上回る結果となり、前述したような9-36とは逆の結果を示した。この結果に

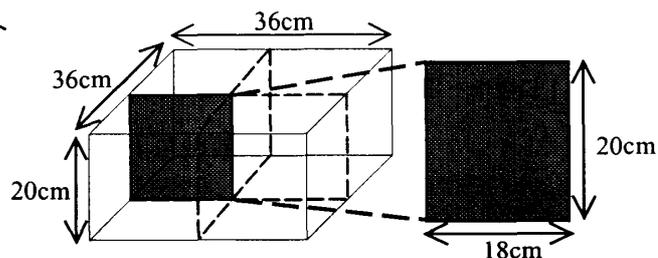


図-10 解析対象領域

においても、非真空領域の増加による影響があるものと考えられる。すなわち、領域Ⅱおよび領域Ⅲに接する非真空領域は、領域Ⅲに接する面積が領域Ⅱに接する面積と比べて大きくなっているため、脱水可能水分がコンクリート内部に多く取り残されていたものと考えられる。

4. コンクリート中の水分移動性状に対する解析的評価

本章では、真空脱水領域および真空脱水口数が及ぼすコンクリートの水分移動性状を解析的手法により評価する。なお、解析モデルは、図-10に示すような供試体の形状寸法に対する1/2モデルとし、2次元解析を行った。

4.1 真空度一定による水分移動性状

図-9は、真空マットに接しているコンクリート表面の真空度をすべて1とし、9口脱水法に対する真空領域が小さい場合における脱水量分布および流速ベクトルの解析結果である。図-7に示す実験結果とは異なった性状を示しており、真空マット中心部よりも真空マット端部の方が脱水量および水分移動が大きい値を示していることが確認できる。これは、真空度がすべて一定であることから、真空脱水口近傍においては局部到達圧の差がなくなることよりコンクリート内部の水分が真空マットに向かって垂直に上昇することに対し、真空マット端部ではマットに触れていないコンクリート領域の水分が加算されることから、このような性状を示したものと思われる。すなわち、3.3節でも述べたように、実験結果と解析結果との定性的な違いからも、コンクリート表面における真空度が一様ではなく、部分的に異なることが言えるわけである。

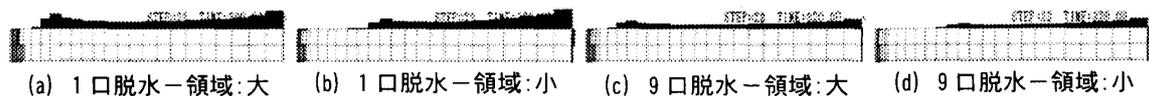


図-11 真空領域および真空脱水口数による脱水量

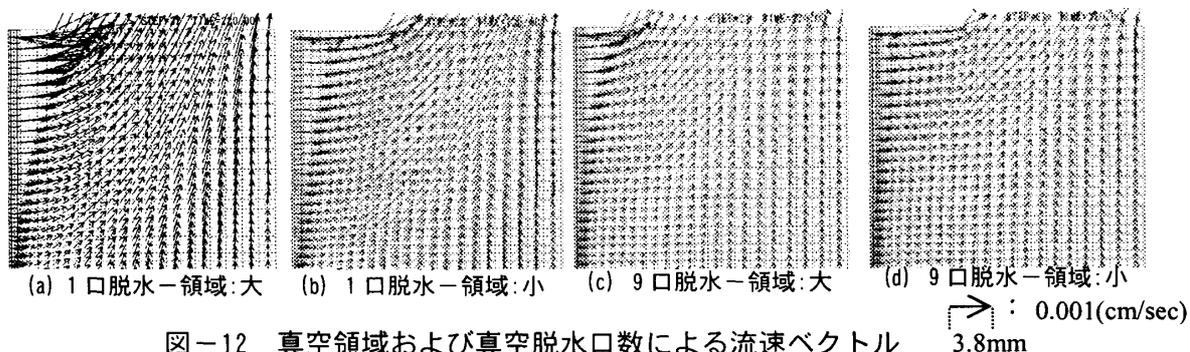


図-12 真空領域および真空脱水口数による流速ベクトル

4.2 真空領域変化に伴う脱水量

4.1節からコンクリート表面の真空度は場所により異なることが明らかとなったわけであり、真空度は真空マット端部に向かうにつれ減少するものと仮定する。すなわち、コンクリート表面に存在する真空マット領域において、真空マット中心部を1とし真空マット端部に向かうにつれ0.5という真空度を与えた。ここで、脱水量については定性的な評価を行うことを目的としたため、その代表値として0.5という値を与えた。図-11は、真空脱水処理工法によるコンクリート表面からの単位時間当たりの脱水量分布である。それぞれ真空脱水口数による真空脱水領域の大小の解析結果を示したものである。

同図から、いずれの解析結果に対しても、真空マット中心部における脱水量が他の箇所 비해多く、真空領域が小さくなることにより増大することがわかる。これは、3.2節で述べた実験結果と同様な性状であり、コンクリート表面の真空部分布が実挙動に対応しているものと判断できる。

4.3 コンクリート内部の水分移動性状

図-12は、真空脱水処理工法によるコンクリート内部の流速ベクトルであり、図-11の解析条件と一致した結果を示したものである。

真空脱水口数の違いから、コンクリート内部から表面への流速ベクトル、すなわち水分移動に差異を生じていることが確認できる。これも、

実験結果と対応する性状であり、9口脱水法に関しては真空処理により真空マット中心部および端部での領域において3.3節で述べたような現象により局所的到達圧に差が生じ、局所的に異なる表面の真空度が深さおよび面方向への脱水可能領域に影響を及ぼし、流速ベクトルに差異が現れたものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、コンクリート内部における局所的な水分移動性状を詳細に評価するため、新たな真空脱水処理工法とした9口脱水法を考案し、真空処処理時におけるコンクリート表面の各領域における脱水量測定を行った。

以下に本研究で得られた結果を示す。

- 1) 真空脱水処理開始初期において脱水量は真空領域の変化には影響を受けず、真空度変化に影響を受けることがわかった。
- 2) 非真空領域の差異が局所的な到達圧に影響を及ぼす結果として、深度方向への脱水量に差異が見られた。

参考文献

- 1) 和藤浩, 村松昭夫, 山口武, 畑中重光: 真空脱水締固め工法による建築床スラブコンクリートの性能改善, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.1393 - 1398, 1999